

文章编号: 1000-2022(2004) 01-0065-08

116 a 长江中下游梅雨的气候特征

陈艺敏, 钱永甫

(南京大学 大气科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 用 EOF 分解、聚类分析和相关分析法, 对 116 a 长江中下游 5 站逐年梅雨资料进行了检验。结果表明, 用这 5 站的梅雨参数确实可以代表长江中下游梅雨的典型特征。根据梅雨量与候雨量的相关程度, 分析了 116 a 梅雨量集中的时段, 对不同的梅雨参数用 Morlet 小波法分析了周期, 找出了年际及年代际变化规律和趋势变化特征, 并用滑动 t 检验法检验了是否发生突变。

关键词: 梅雨; EOF 分解; Morlet 小波分析; 滑动 t 检验

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

每年夏初, 在湖北宜昌以东 $28 \sim 34 \text{ N}$ 之间的江淮流域常会出现连阴雨天气, 雨量很大。由于这一时期正是江南梅子黄熟季节, 故称“梅雨”^[1]。叶笃正等^[2]研究表明, 全国涝灾主要集中在江淮地区。江淮地区的旱涝灾害主要发生在 6—8 月, 台风活动和梅雨异常是旱涝灾害的主要成因。其中 6—7 月的旱涝, 大部分是由梅雨异常引起的。入梅的迟早、梅雨期的长短和梅雨量的丰枯都会影响江淮地区夏季的气候状况。由于观测数据的缺少, 一般梅雨资料的时间序列仅为几十年, 而每年梅雨的起讫时间、长度、降水量等相差很大, 需要有尽可能长的时间序列来研究梅雨气候变化的规律。本文所用资料是徐群整理的时间序列^[3-4], 长达 116 a, 是关于长江中下游的上海、南京、芜湖、九江和汉口 5 个站点从 1885 年到 2000 年每年梅雨期的参数。这些梅雨参数包括梅雨集中期、梅雨长度、梅雨量、累积梅雨强度、入梅日期和出梅日期等。这里只选择每年对长江中下游梅雨区旱涝造成重要影响的参数来讨论, 主要是梅雨长度、梅雨量、入梅日期和出梅日期。

1 资料代表性的检验

由于 116 a 的资料序列是用 5 站的梅雨特征得出的, 其代表性和可靠性如何, 需做检验。

1.1 确定降水的高相关区和检验梅雨参数的空间代表性

利用 1951—2000 年全国 160 站 6—7 月份月降水资料, 用 EOF 方法分析得到中国 6—7 月降水的主要模态(图 1)。前 3 个模态的累积方差贡献达到 40%, 第 1 模态方差贡献为 17%, 第 2 模态为 14%。第 1 空间模态反映 6—7 月全国除了黄河下游及长江和黄河中下游

收稿日期: 2003-03-31; 改回日期: 2003-06-09

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40175021); 国家自然科学基金重点资助项目(40233037)

作者简介: 陈艺敏(1979-), 女, 福建漳州人, 硕士生。

间的小片地区外, 普遍同号, 大值中心主要集中在长江中下游。第 2 空间模态反映了降水分布呈南部与中部、北部相反的特征, 正负值的分界线大约在 28°N 附近。两个空间型中, 110°E 以东, $28 \sim 35^{\circ}\text{N}$ 在 6—7 月都属于高值区, 这个区域与通常定义的梅雨区^[5]是一致的。

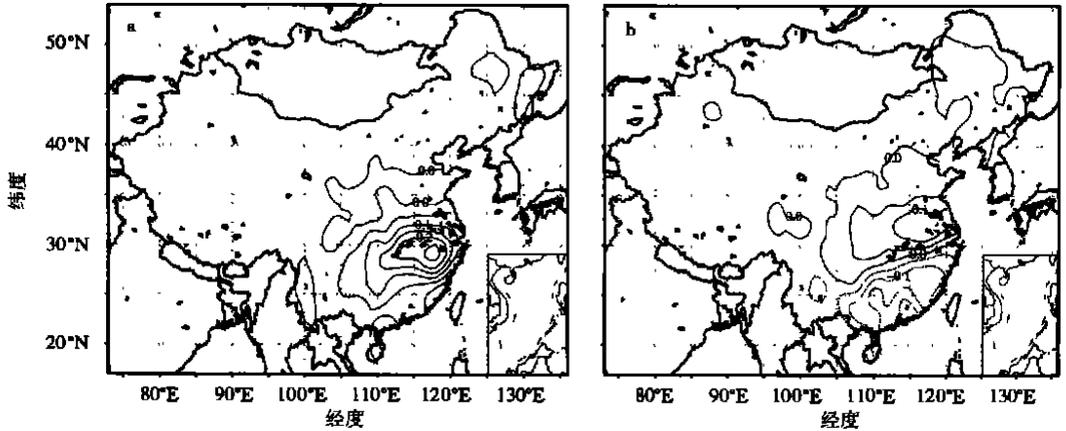


图 1 我国 6—7 月降水的第 1(a) 和第 2(b) 空间模态

Fig. 1 The first (a) and second (b) spatial mode for June and July rainfall in China

为了进一步证明 5 站梅雨参数的代表性, 本文接着用最短路法^[6]在 110°E 以东, $25 \sim 35^{\circ}\text{N}$ 区域内 (共 38 点) 对梅雨量聚类。当两个站点 6、7 月的雨量差不超过 40 mm 时, 这些点大致可以聚为 3 类 (图 2 分别用实心圆、空心圆和空心正方形表示 3 种不同的类, 5 个站用十字表示)。可见, 这 5 站代表了 6—7 月份长江中下游主要的 3 种不同雨量类, 并且站点也较均匀地分布在区域内, 可以表示整个长江中下游梅雨区降水的特征。

1.2 检验梅雨参数的时间代表性

这里选择梅雨量参数与梅雨出现月份 (5—8 月) 的月雨量分别求相关 (图略), 发现 5 月和 8 月的相关系数比较小, 而 6 月、7 月在 112°E 以东, $28 \sim 33^{\circ}\text{N}$ 之间的地区都出现了大片的高相关区。需要注意的是, 6 月的高相关区主要集中在 113°E 以东, 而 7 月的高相关中心明显向 113°E 以西偏移, 而且在 112°E 高相关区明显断开。这说明, 梅雨量主要集中在 6、7 两个月, 其中 6 月是梅雨出现更集中的时间。把 112°E 以东, $28 \sim 33^{\circ}\text{N}$ 的地区定为长江中下游梅雨区, 用 5 站的梅雨参数代表文中定义的梅雨区的平均特征。

2 116 a 梅雨资料的进一步分析

根据上节的检验, 可知 116 a 梅雨参数序列在一定程度上反映了长江中下游梅雨的基本特征。因此, 分析该参数序列的特征, 可在一定程度上得到长江中下游梅雨的时变特征。

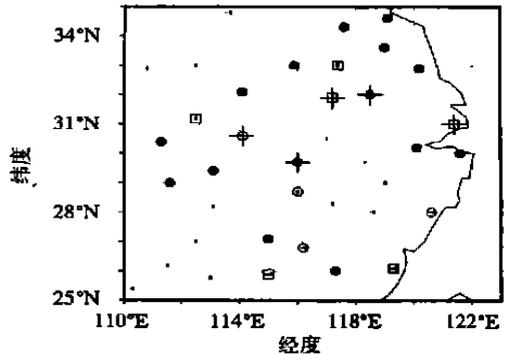


图 2 长江中下游地区梅雨量最短距离法的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of the shortest distance for mei-yu rainfall in the mid-lower reaches of Changjiang river

2.1 用 116 a 梅雨量分析用候做单位的合理性

利用 1961—2000 年全国逐日降水资料, 对所定义的梅雨区内(共 61 个站), 求从 6 月 1 候到 7 月 6 候的候降水量和梅雨量的相关(下面只给出 6 月 4 候至 7 月 3 候的相关图, 见图 3)。结果发现, 6 月 2 候图中相关系数还比较小, 不超过 0.15。从 6 月 3 候起, 这块区域中心区相关系数明显增大, 超过 0.2。接下来 6 月 4 候的相关系数继续增大, 出现两个高相关区, 一个在东北角, 偏向于淮河流域; 一个在区域中心, 处于长江流域内。所以可以把 6 月 4 候当作是梅雨开始的时间。6 月 5 候相关系数明显减小, 出现降水的中断。关于这点, 周曾奎^[7]指出, 入梅后, 江淮地区一直阴雨连绵的情况是少数, 相反由于天气过程的更迭, 绝大多数年份会出现降水间断的晴好天气。6 月 6 候北部的高相关区消失, 中部高相关区的面积增大, 说明降水主要集中在长江流域。7 月 1 候高相关区偏向北, 位于淮河流域, 并在汉口以西出现另一个高相关中心。这可能是降水带发生变化的标志。到 7 月 2 候长江中下游流域的高相关区面积缩小, 相关系数开始减小, 相关中心移到了 112°E 以西。7 月 3 候在长江中下游流域已无高相关区, 116 a 梅雨量序列已不再反映梅雨的特征。7 月 4 候虽然也出现了高相关区, 但它的中心位置显著西移, 已经不是长江中下游梅雨, 而是另一种类型降水。

因此, 以候为研究的时间单位时, 应认为典型的梅雨是从 6 月 4 候到 7 月 1 候。另外, 还可以注意到梅雨并非是连续性的大范围强降水, 梅雨期间有明显的少雨或无雨期。根据分析结果知道, 6 月 5 候是一个比较典型的降水间断期。

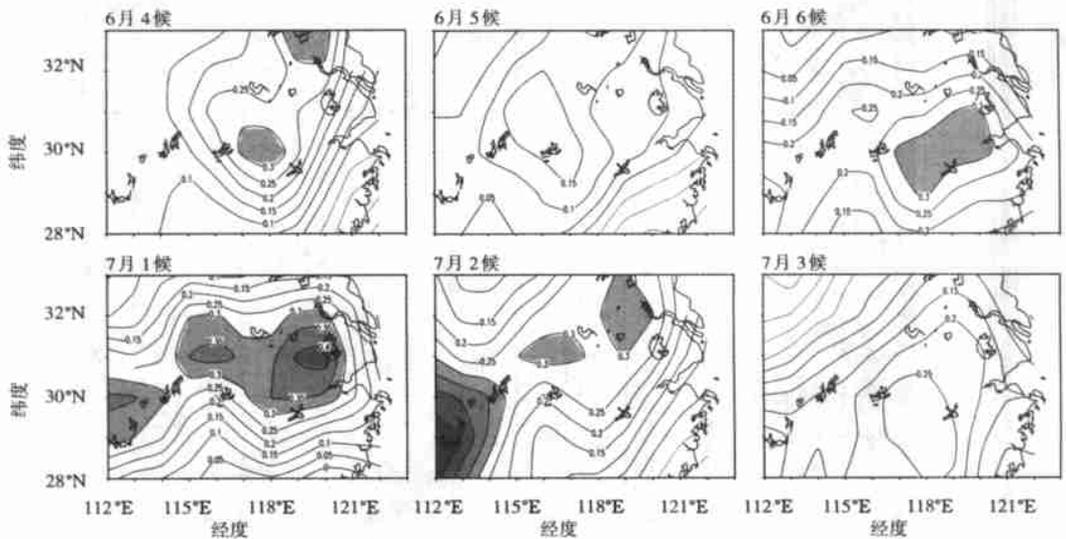


图 3 梅雨量参数和候雨量的相关(阴影部分通过 0.05 显著性检验)

Fig. 3 Correlation coefficients between mei-yu rainfall parameter and pentad rainfall

(Areas passing the 0.05 significance level are shaded)

2.2 梅雨参数的周期分析

对梅雨长度、雨量、入梅日期和出梅日期, 分别用 Morlet 小波法分析它们的周期(图 4)。小波分析的定义见文献[8], 它是在傅立叶变换的基础上引入窗口函数, 将一个一维的气象信号在时间和频率两个方向上展开, 因而可以更好地反映信号的局地化特征。

4 幅图中都形成各种尺度正负相间的振荡中心, 显示长江中下游梅雨区的参数包含了多个尺度的周期变化。观察其中闭合曲线的密集区, 发现梅雨长度在 8 a 左右和 32 a 左右的时

间尺度上, 正负闭合中心最明显。其中短的周期振荡, 从 20 世纪初到 20 世纪 80 年代初是逐渐减小的(从 12 a 减小到 6 a), 但从 90 年代开始周期又增加至 8 a。梅雨量的正负闭合中心分布比较复杂, 1905 年以前和 1950 年以后, 可以看成 3 个周期: 6 a 左右、16 a 左右和 28 a 左右; 1905—1950 年间的周期是 8 a 左右和 32 a 左右。入梅日期除了一个 26 a 左右的长周期外, 在 1940 年前, 有 3 a 左右和 12 a 左右的短周期, 1940 年以后短周期为 8 a 左右。出梅日期的周期主要是 8 a 左右和 32 a 左右, 从 70 年代起, 6 a 的周期振荡尤其明显, 并且出现了一个近 16 a 的周期。

联系能量分布(图略), 发现短周期的能量要比长周期的能量大得多。所以短周期为主周期, 长周期为次周期。

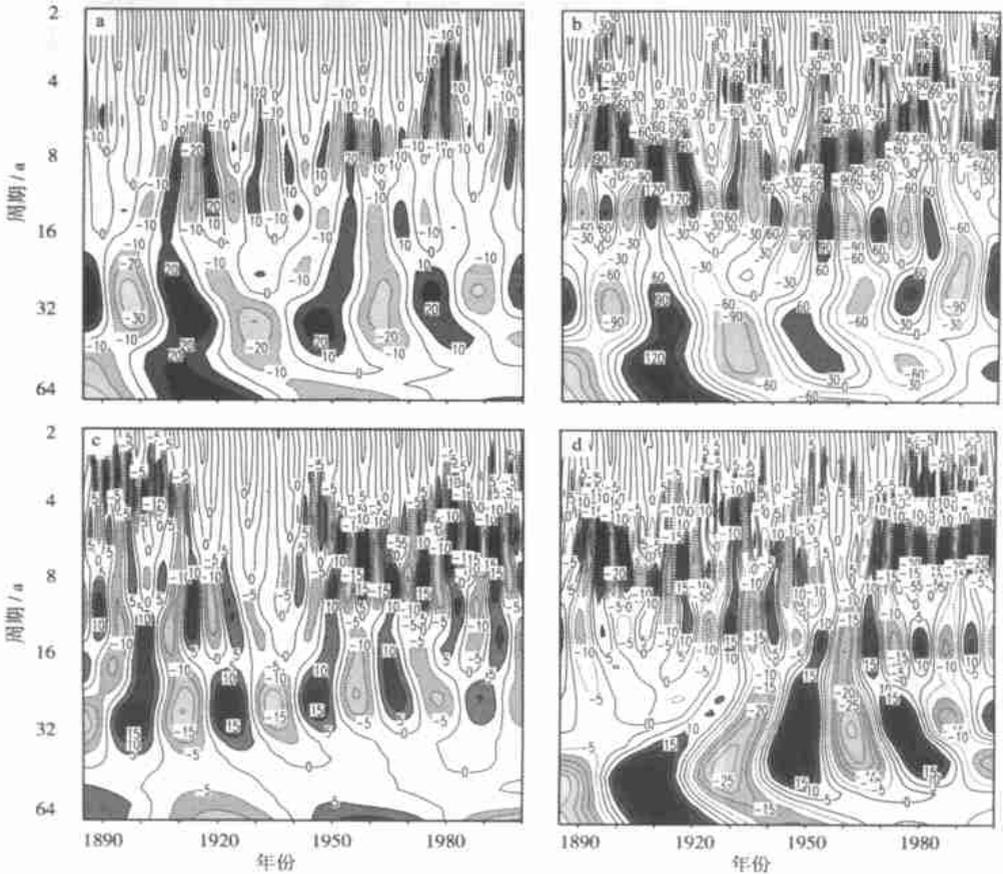


图 4 4 个梅雨参数的小波分析

a. 梅雨长度; b. 梅雨量; c. 入梅日期; d. 出梅日期

Fig. 4 Morlet wavelet analysis of four mei-yu parameters

a. mei-yu length; b. meiyu rainfall; c. the beginning date of mei-yu; d. the ending date of mei-yu

2.3 梅雨参数的年际及年代际变化

图 5 是上述 4 个梅雨参数标准化距平的年际变化曲线、11 a 平滑曲线和六次多项式趋势变化。11 a 平滑可以滤掉年际振荡, 更方便观察其年代际变化规律。根据趋势线的走势, 可以判断参数的变化方向。

4 个梅雨参数的年际变化都很明显, 年际振荡的振幅很大, 并且正距平的变化幅度要比负

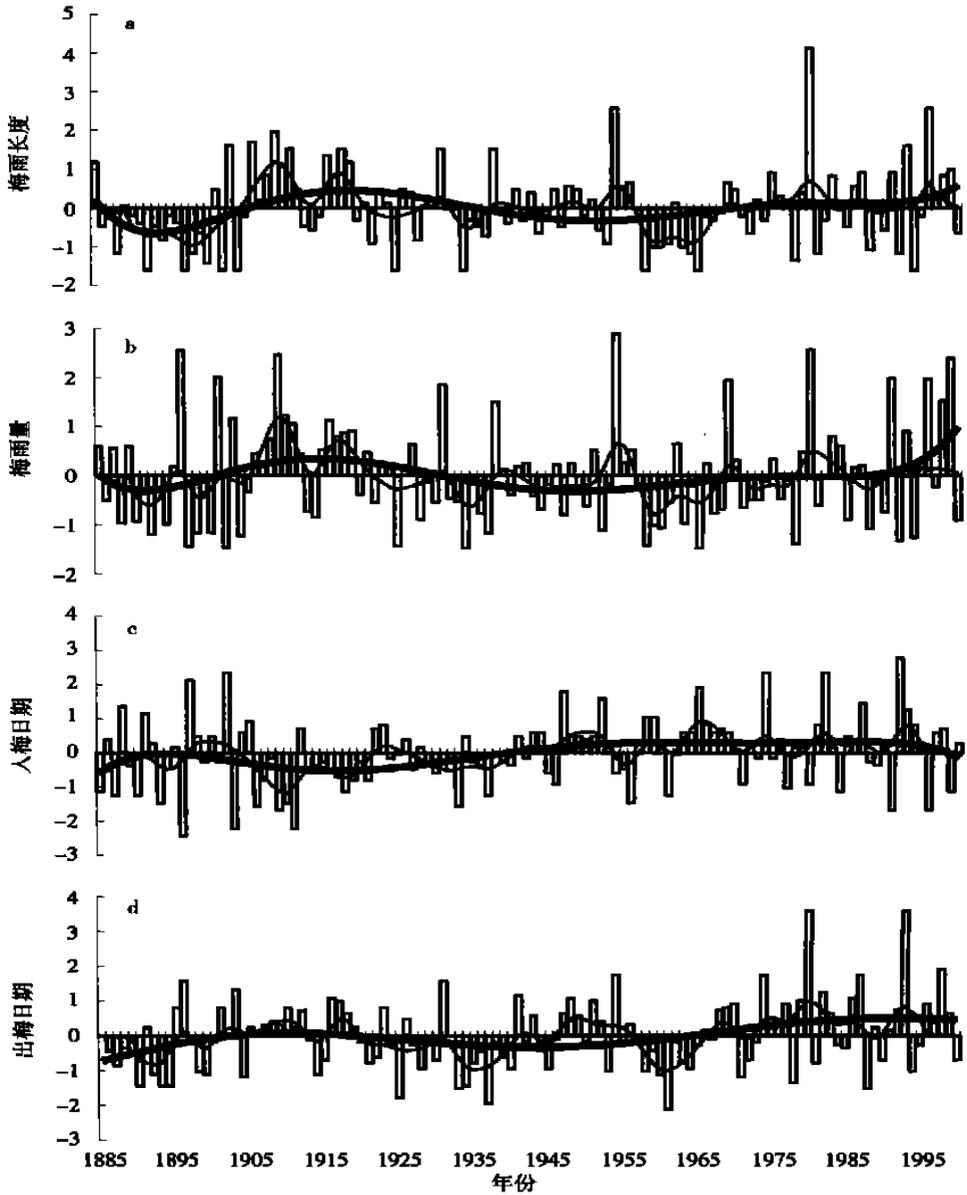


图 5 梅雨参数的年际、年代际变化和趋势变化
 a. 梅雨长度; b. 梅雨量; c. 入梅日期; d. 出梅日期
 (空心柱状是标准化距平, 细实线是 11 a 平滑, 粗实线是趋势线)

Fig. 5 Interannual, interdecadal and trend variations of mei-yu parameters
 a. mei-yu length; b. mei-yu rainfall; c. beginning date of mei-yu; d. ending date of mei-yu
 (The blank column is standardization anomalies.

The light solid line is the 11-year running mean. The heavy solid line is the trend line)

距平的变化幅度大。梅雨长度和梅雨量的年代际变化表明, 1903 年以前以负振荡为主, 1903—1923 年以正振荡为主, 1923—1970 年为负振荡, 以后为正振荡, 其中 1923 年到 1950 年振幅明显变小。梅雨长度和梅雨量趋势线的变化, 都是大约在 1891 年以前下降, 1915 年以前上升, 1951 年以前又下降, 以后呈上升趋势。从 20 世纪 90 年代中期开始, 趋势线上翘明显。入梅日

期 1903 年以前年代际振幅比较小,以后振幅变大,1903—1942 年主要为负,1942 年以后为正。出梅日期正负振荡有规则的相间分布,1920—1970 年负振荡占优势,1970 年以后正振荡明显。入梅日期的趋势线,1891 年以前上升,1915 年以前下降,1950 年以前上升,以后趋势线平稳,但 1993 年以后明显下降。出梅时间的趋势线是 1909 年以前上升,1945 年以前下降,1993 年以前上升,以后较平稳。根据趋势线的变化,可以预测以后梅雨的长度和雨量都会有所增加,而入梅日期会提前,出梅日期的变化不明显。

从 4 个参数两两相关的系数看(表 1),梅雨量与梅雨长度和出梅日期正相关,而与入梅日期负相关,说明梅雨量大的年,梅雨长度长,入梅早,出梅晚,并且年际变化和年代际变化的相关系数基本相同。

表 1 4 个梅雨参数的两两相关

Table 1 Correlation coefficients between mei-yu parameters

	梅雨量		入梅日期		出梅日期	
	年际	年代际	年际	年代际	年际	年代际
梅雨长度	0.842	0.869	-0.468	-0.384	0.692	0.668
梅雨量			-0.497	-0.503	0.629	0.632
入梅日期					0.116	0.235

2.4 梅雨突变的检验

从年际变化图(图 5)中可以看到,有几次梅雨出现了极大正距平或负距平值,但并不是任何变化都可以称为“突变”。所谓的气候突变指的是气候从一种稳定的状态跳跃式地进入另一种稳定的状态^[9]。这里利用滑动 t 检验法,检验梅雨参数 116 a 中具有突变意义的变化。滑动 t 检验法^[10]是对时间序列进行循环计算,得到 t 统计量。只有 t 统计量的最大绝对值超过 2.898 或 -2.898,才能通过 0.01 显著性水平检验,并可以判断该序列中有突变发生。

符合突变条件的参数有梅雨长度和出梅日期,梅雨长度有 1901—1905、1956—1958、1965—1969 年 3 个突变点,出梅日期有 1955—1957、1967 年两个突变点(图 6)。从图 6 中可以看到,1901—1905 年以后梅雨长度由短变长,1956—1958 年以后由长变短,1965—1969 年以后梅雨长度又变长。1955—1957 年以后,出梅日期提前了,1967 年后出梅日期明显推迟了。这两次突变与梅雨长度的突变符合得很好。虽然梅雨长度在 100 多年中发生过 3 次明显的突变,出梅日期发生了两次明显的突变,但反映梅雨多少的重要参数梅雨量并没有通过突变显著性检验。可以说,100 多年来,梅雨量并没有发生气候突变。

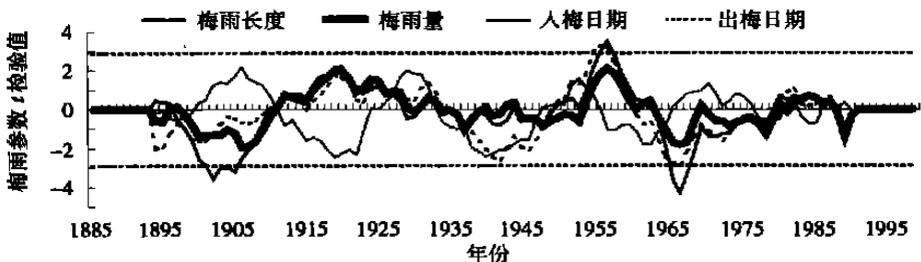


图 6 梅雨参数的滑动 t 检验

Fig. 6 The moving t -test of mei-yu parameters

3 与已有降水研究结果的比较

文献[11]利用谱分析算出梅雨长度和出梅期可能有 2~3 a 的振动。最近杨义文等^[4]用非整数波计算法得到 116 a 梅雨参数普遍存在 2~3 a 周期, 梅雨长度、梅雨量和出梅日期存在 6 a 左右和 35~38 a 的周期。本文用小波分析也同样找到年际振荡和年代际振荡的周期, 并且做了更详细的周期分析。

江志红等^[12]利用旋转正交分解(EOF)分析 1951—1989 年全国降水得到, 长江中下游第 1 主成分从 20 世纪 50 年代中期起呈下降趋势至 60 年代, 随后呈上升趋势至 70 年代后期, 然后又缓慢减少, 80 年代略有上升。王叶红等^[13]对 1951—1998 年长江中下游 6—7 月降水进行了分析, 发现近 48 a 来长江中下游降水存在 3 个明显的气候段: 50 年代为多雨, 60—70 年代为干旱期, 80—90 年代为多雨期。显然, 以上结果与本文对年际和年代际变化分析完全一致。本文的时间序列不但更长, 反映的年代际变化更清楚, 而且还用多项式趋势线分析了梅雨参数的变化特征。

黄荣辉等^[14]用 1951—1994 年降水序列, 分析指出我国夏季降水在 1965 年前后发生了一次气候跃变, 而长江流域的降水从 70 年代起开始明显增多。余锦华等^[15]应用 Radok 提出的持续性变化检测方法, 并结合 EOF 分析, 得出 1951—1992 年江淮流域降水发生了 9 次变化, 其中 60 年代后期夏季降水的变化可以认为是突变。根据本文滑动 t 检验结果, 60 年代后期, 长江中下游地区出梅日期和梅雨长度确实发生了突变, 梅雨量的突变虽然没有通过显著性检验, 但其值也不小。

4 结 语

(1) 用 EOF 分解确定降水的相关区域并通过最短距离法对雨量聚类, 发现 5 站可以代表长江中下游梅雨区内主要降水的空间特征。相关分析表明梅雨量参数与雨季(6—7 月)相关最好, 体现了空间代表性。

(2) 116 a 梅雨资料分析结果表明: 1) 当时间单位取候时, 长江中下游流域内梅雨量与站点雨量相关最好的时段是 6 月 4 候到 7 月 1 候。表明长江中下游梅雨主要集中在这 20 d 内。2) 用 Morlet 小波法分析梅雨参数的周期, 发现梅雨参数包含了多个尺度的周期变化。在不同的时期, 参数的周期并不十分一致。但是 4 个参数都存在一个 10 a 以内的主周期和一个 30 a 左右的次周期。3) 这 4 个参数的年际变化都很明显, 并存在年代际振荡。值得注意的是, 从 20 世纪 70 年代开始, 梅雨长度、梅雨量和出梅日期的年代际振荡均为正, 意味着梅雨长度偏长, 梅雨量偏大, 出梅日期偏迟。根据趋势线的变化, 可以预测以后梅雨的长度和雨量都会有所增加, 入梅日期会提前, 出梅日期的变化不大。4) 梅雨长度在 100 多年来发生过 3 次突变, 出梅日期发生过 2 次突变, 但反映梅雨的重要参数梅雨量没有通过滑动 t 检验的显著性检验, 可以认为 100 多年来, 梅雨量没有发生明显的气候突变。

(3) 与已有的关于长江中下游一带降水研究结果比较可以发现, 本文所得到的梅雨参数的周期、年际和年代际变化特征和突变点均和已有的研究结果十分一致。但本文不仅利用了更长的时间序列, 而且采用了多种诊断分析方法对长江中下游梅雨做了更为详细的分析。

参考文献:

[1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 350.

- [2] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 387.
- [3] 徐 群, 杨义文, 杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨(一)[J]. 暴雨·灾害, 2001(1): 44-53.
- [4] 杨义文, 徐 群, 杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨(二)[J]. 暴雨·灾害, 2001(1): 54-61.
- [5] 王得民, 王建新. 关于梅雨问题的几点看法[J]. 南京气象学院学报, 1990, 13(3): 466-473.
- [6] 施 能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 316.
- [7] 周曾奎. 江淮梅雨[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 45.
- [8] 江 静, 钱永甫. 南海地区降水的时空特征[J]. 气象学报, 2000, 58(1): 60-69.
- [9] 徐建军, 朱乾根, 周铁汉. 近百年东亚冬季风的突变性和周期性[J]. 应用气象学报, 1999, 10(1): 1-8.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 269.
- [11] 徐 群. 前期南方涛动对初夏西太平洋副高活动特征的影响[J]. 热带气象, 1988, 4(2): 174-184.
- [12] 江志红, 丁裕国. 近 40 年我国降水量年际变化的区域性特征[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 73-78.
- [13] 王叶红, 王谦谦, 赵玉春. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气温异常的关系[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(4): 685-691.
- [14] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-476.
- [15] 余锦华, 丁裕国. 我国江淮流域温度和降水持续性变化的研究[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 145-151.

Climatic Characteristics of 116-Year Mei-yu Rainfall in the Mid-lower Reaches of the Changjiang River

CHEN Yi-min, QIAN Yong-fu

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Using EOF decomposition, cluster analysis and correlation analysis, 116-year annual mei-yu data of five stations in the mid-lower reaches of the Changjiang river are examined. Results show that the five stations data can represent typical mei-yu characteristics in this region. According to the relation between mei-yu rainfall and pentad rainfall, the 116-year mei-yu rainfall-concentrated periods are analyzed. The four different mei-yu parameters' periods are analyzed by Morlet wavelet analysis. Laws of interannual and interdecadal variations and characteristics of trends are found. Climatic jumps are tested by the moving t -test.

Key words: mei-yu; EOF decomposition; Morlet wavelet analysis; moving t -test